

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-311277

(P2002-311277A)

(43) 公開日 平成14年10月23日 (2002.10.23)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テームト* (参考)

G 0 2 B 6/13

G 0 2 B 6/12

M 2 H 0 4 7

6/12

N

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-118611 (P2001-118611)

(22) 出願日 平成13年4月17日 (2001.4.17)

(71) 出願人 000005120

日立電線株式会社

東京都千代田区大手町一丁目6番1号

(72) 発明者 井本 克之

茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立

電線株式会社オプトロシステム研究所内

(74) 代理人 100068021

弁理士 絹谷 信雄

Fターム (参考) 2H047 KA04 KA11 KA12 LA00 LA12

PA01 PA05 PA22 QA04 TA31

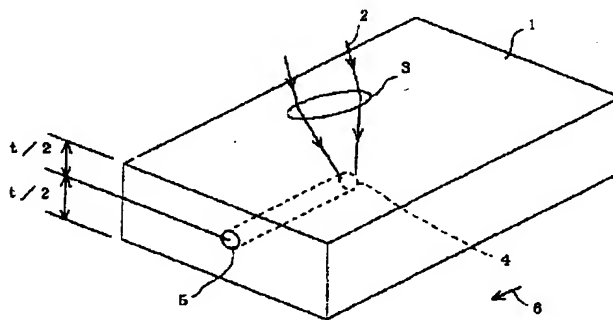
TA41

(54) 【発明の名称】 ガラス導波路の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 低損失で安定した特性を有するガラス導波路が得られるガラス導波路の製造方法を提供する。

【解決手段】 透明ガラス板1の厚さの略1/2の位置にフェムト秒レーザーパルス2を集光させることにより、高屈折率の光伝搬層5が形成される。この透明ガラス板1とフェムト秒レーザーパルス2の焦点とを相対移動させることにより、高屈折率の光伝搬層5が透明ガラス板1中に連続的に形成されるので、透明ガラス板1中にレーザー照射による熱的歪みが残っていたとしても導波路が略対称構造を有しているため、偏波依存性が生じにくい。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 透明ガラス板内の略1/2の厚さの位置にフェムト秒レーザーパルスビームを集光させると共に、該フェムト秒レーザーパルスビームの焦点と上記透明ガラス板とを上記透明ガラス板の面方向に沿って相対移動させて高屈折率の光伝搬層を連続的に形成することを特徴とするガラス導波路の製造方法。

【請求項2】 上記フェムト秒レーザーパルスビームの波長を200nm～2400nmとし、パルス幅を数十フェムト秒～数百フェムト秒とし、繰返し数を数十Hz～数百Hzとし、平均出力を10mW～数百mWとし、集光スポット径を数μm～数十μmとする請求項1に記載のガラス導波路の製造方法。

【請求項3】 上記透明ガラス板として、極低水酸基の石英ガラス、熱膨張係数が略ゼロのアサermalガラス、あるいは上記石英ガラスや該アサermalガラスに高屈折率制御用ドーハントを少なくとも一種類含んだものを用いる請求項1又は2に記載のガラス導波路の製造方法。

【請求項4】 上記透明ガラス板内の高屈折率の光伝搬層の形状が、所望の厚さ及び幅を有し、少なくとも直線、曲線及び両方を含むパターン、方向性結合器型パターン、Y分岐型パターンを含むように上記フェムト秒レーザーパルスビームを照射する請求項1から3のいずれかに記載のガラス導波路の製造方法。

【請求項5】 上記透明ガラス板の全体か、あるいは上記フェムト秒レーザーパルスビームの照射部の外周に、予めフッ素やホウ素等の屈折率を低下させるドーハントを含有させて上記フェムト秒レーザーパルスビームを照射する請求項3に記載のガラス導波路の製造方法。

【請求項6】 上記高屈折率の光伝搬層の屈折率を、上記フェムト秒レーザーパルスビームのパルス幅と平均出力とを調節することによって制御する請求項1から5のいずれかに記載のガラス導波路の製造方法。

【請求項7】 上記高屈折率の光伝搬層の途中に、屈折率の異なる異屈折率領域を少なくとも一つ形成する請求項1から6のいずれかに記載のガラス導波路の製造方法。

【請求項8】 上記異屈折率領域の形状を球形とする請求項7に記載のガラス導波路の製造方法。

【請求項9】 上記透明ガラス板の全体か、あるいは上記フェムト秒レーザーパルスビームの照射部の外周に予め希土類元素を少なくとも一種類添加して上記フェムト秒レーザーパルスビームを照射する請求項1から8のいずれかに記載のガラス導波路の製造方法。

【請求項10】 上記屈折率制御用ドーハントを含んだ透明ガラス板をゾル・ゲル法か、あるいは火炎堆積法によって作製する請求項3から9のいずれかに記載のガラス導波路の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ガラス導波路の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】ガラス板の表面、あるいはガラス板の内部に、フェムト秒レーザーパルスビームを集光させて照射させることにより、その照射された微小領域の屈折率を高め、その高屈折率領域をガラス板のX、Y、あるいはZ方向に連続的に形成することによって、光の伝搬する導波路を実現する方法が提案されている。

【0003】図8(a)は合成石英ガラス中に導波路を形成した場合の断面図、図8(b)はフッ化物ガラス中に導波路を形成した場合の断面図、図8(c)は光学ガラス中に導波路を形成した場合の断面図である。

【0004】図8(a)～(b)よりガラスの種類により導波路20a～20cの太さが変わるの分かる。

【0005】図9(a)はレーザービームを試料の表面に平行移動させて照射した場合の断面図を示し、図9(b)はレーザービームを試料の表面に垂直に移動させながら試料の表面に沿って移動させて照射した場合の断面図である。

【0006】図9(a)、(b)よりレーザービームの焦点の移動に応じて導波路21a、21bが形成されることが分かる。すなわち、レーザービームを試料の表面に沿って平行に移動させる場合には直線状の導波路21aが形成され(図9(a))、レーザービームを試料の表面に垂直に移動させながら試料の表面に沿って移動させ流場合には波状の導波路21bが形成される(図9(b))。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述した導波路の形成方法は、まだ原理的方法が確認された段階のものであり、導波路として実用化していくためには幾多の問題があり、未だにその見通しが得られていない状況にある。すなわち、

(1)非常に短いパルス幅(数十フェムト秒(fs)～数百fs)の間に大出力(数億W～数十億W)のレーザー光がガラス板に照射されるので、ガラス板中にわずかの熱的歪みが残る、この歪みが偏波依存性のある導波路構造を形成してしまう。

(2)導波路構造が非対称のため、温度変化に対して光伝搬特性が変動しやすい。(3)低損失特性が実現されていない。という問題があった。

【0008】そこで、本発明の目的は、上記課題を解決し、低損失で安定した特性を有するガラス導波路が得られるガラス導波路の製造方法を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明ガラス導波路の製造方法は、透明ガラス板内の略1/2の厚さの位置にフェムト秒レーザーパルスビーム

を集光させると共に、フェムト秒レーザパルスビームの焦点と透明ガラス板とを透明ガラス板の面方向に沿って相対移動させて高屈折率の光伝搬層を連続的に形成するものである。

【0010】上記構成に加え本発明のガラス導波路の製造方法は、フェムト秒レーザパルスビームの波長を200nm～2400nmとし、パルス幅を数十フェムト秒～数百フェムト秒とし、繰り返し数を数十Hz～数百Hzとし、平均出力を10mW～数百mWとし、集光スポット径を数 μ m～数十 μ mとするのが好ましい。

【0011】上記構成に加え本発明のガラス導波路の製造方法は、透明ガラス板として、極低水酸基の石英ガラス、熱膨張係数が略ゼロのアサermalガラス、あるいは石英ガラスやアサermalガラスに高融点の屈折率制御用ドーパントを少なくとも一種類含んだものを用いるのが好ましい。

【0012】上記構成に加え本発明のガラス導波路の製造方法は、透明ガラス板内の高屈折率の光伝搬層の形状が、所望の厚さ及び幅を有し、少なくとも直線、曲線及び両方を含むパターン、方向性結合器型パターン、Y分岐型パターンを含むようにフェムト秒レーザパルスビームを照射するのが好ましい。

【0013】上記構成に加え本発明のガラス導波路の製造方法は、透明ガラス板の全体か、あるいはフェムト秒レーザパルスビームの照射部の外周に、予めFやB等の屈折率を低下させるドーパントを含有させてフェムト秒レーザパルスビームを照射するのが好ましい。

【0014】上記構成に加え本発明のガラス導波路の製造方法は、高屈折率の光伝搬層の屈折率を、フェムト秒レーザパルスビームのパルス幅と平均出力とを調節することによって制御するのが好ましい。

【0015】上記構成に加え本発明のガラス導波路の製造方法は、高屈折率の光伝搬層の途中に、屈折率の異なる異屈折率領域を少なくとも一つ形成するのが好ましい。

【0016】上記構成に加え本発明のガラス導波路の製造方法は、異屈折率領域の形状を球形とするのが好ましい。

【0017】上記構成に加え本発明のガラス導波路の製造方法は、透明ガラス板の全体か、あるいはフェムト秒レーザパルスビームの照射部の外周に予め希土類元素を少なくとも一種類添加してフェムト秒レーザパルスビームを照射するのが好ましい。

【0018】上記構成に加え本発明のガラス導波路の製造方法は、屈折率制御用ドーパントを含んだ透明ガラス板をゾル・ゲル法か、あるいは火炎堆積法によって作製するのが好ましい。

【0019】本発明によれば、透明ガラス板の厚さの略1/2の位置にフェムト秒レーザパルスを集光させることにより、高屈折率の光伝搬部が形成される。この透明

ガラス板とフェムト秒レーザパルスの焦点とを相対移動させることにより、高屈折率の光伝搬層が透明ガラス板中に連続的に形成されるので、透明ガラス板中にレーザ照射による熱的歪みが残っていたとしても導波路が略対称構造を有しているため、偏波依存性が生じにくい。

【0020】また、本発明によれば、環境温度が変化しても導波路が略対称構造を有しているため、光学特性の変化が生じにくい。

【0021】さらに、本発明によれば、透明ガラス板として、極低水酸基の石英ガラス板を用いることにより、波長1.39 μ m帯における水酸基による吸収損失の極めて少ない、低損失・広帯域のガラス導波路を得ることが可能となる。

【0022】さらに、本発明によれば、熱膨張係数が略ゼロのアサermalガラス（例えば、日本電気硝子製の結晶化ガラス）を用いることにより、温度無依存の導波路が実現可能となる。

【0023】本発明のガラス導波路を用いて、光方向性結合器、光分波器、光合波器、光スターカプラ等の光信号処理回路を構成することにより、温度変化に対して光学特性がほとんど変化せず、低損失、低偏波特性が実現可能となる。

【0024】さらに、本発明によれば、透明ガラス板に、レーザ照射によって拡散しにくい高融点の屈折率制御用ドーパントを少なくとも一種類含んだものを用いることにより、レーザ照射によって、これらのドーパントを均一で緻密な酸化物に変えることができ、レーザ照射部とレーザ非照射部との比屈折率差を大きくすることができる。

【0025】さらに、本発明によれば、透明ガラス板の全体にFやB等の屈折率を低下させるドーパントを含有させておくことにより、これらのドーパントは融点が高いので、レーザ照射によって容易に拡散してレーザ非照射部に移り、光伝搬層としてそのまわりの低屈折率ドーパントを含有したガラスとの比屈折率差をより一層大きくすることができる。またFは透明ガラス板中の水酸基と高温反応して脱水酸基作用をする効果があり、より低水酸基の導波路を実現することができる。

【0026】さらに、本発明によれば、高屈折率の光伝搬層の途中に、屈折率の異なる異屈折率領域を少なくとも一つ形成することにより、導波路グレーティングや光共振器等を構成することができる。この異屈折率領域は、フェムト秒レーザパルスビームのパルス幅や平均出力を調節することにより実現することができる。異屈折率領域の形状を球形状にし、球形状の異屈折率領域を透明ガラス板の光伝搬方向に所定の間隔で複数個形成することにより、光共振器や光フィルタ等を実現することができる。

【0027】さらに、本発明によれば、透明ガラス板の全体に、あるいはレーザ照射領域に希土類元素を少なく

とも一種類添加したものをを用いることにより、能動的な機能、例えば、光増幅器、レーザ発振等の機能を有する光部品を実現することができる。すなわち、希土類元素を添加した透明ガラス板を、ゾル・ゲル法（あるいは火炎堆積法+アルコールに溶かした希土類元素化合物の浸漬法+高温加熱法）等で形成し、得られた透明ガラス板の略1/2の厚さの位置にフェムト秒レーザパルスビームを照射することにより、高屈折率化と共に、照射領域の希土類元素の均一分布化を図ることができる。このような導波路に信号光と共に励起光を入力させることにより、高利得光増幅や高出力光発振等の能動機能回路を実現することができる。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を添付図面に基づいて詳述する。

【0029】図1は本発明のガラス導波路の製造方法の一実施の形態を示す説明図である。

【0030】本ガラス導波路の製造方法は、透明ガラス板1内の略1/2の厚さの位置にフェムト秒レーザパルスビーム2を集光させると共に、フェムト秒レーザパルスビーム2の焦点と透明ガラス板1とを透明ガラス板1の面方向に沿って相対移動させて高屈折率の光伝搬層5を連続的に形成するものである。

【0031】フェムト秒レーザパルスビーム2を透明ガラス板1に照射するにあたり、フェムト秒レーザパルスビーム2の波長が200nm～2400nmであり、パルス幅が数十fs～数百fsであり、繰返し数が数十Hz～数百Hzであり、平均出力が10mW～数百mWであり、集光スポット径が数μm～数十μmであるのが好ましい。

【0032】このように透明ガラス板1の厚さの略1/2の位置にフェムト秒レーザパルスビーム2を集光させることにより、高屈折率の光伝搬層が形成される。この透明ガラス板1とフェムト秒レーザパルス2の焦点とを相対移動させることにより、高屈折率の光伝搬層5が透明ガラス板1中に連続的に形成されるので、透明ガラス板1中にレーザ照射による熱的歪みが残っていたとしても導波路が略対称構造を有しているため、偏波依存性が生じにくい。

【0033】以下、具体的な数値を挙げて説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

【0034】図1に示す透明ガラス板1として、極低水酸基の石英ガラス板（ SiCl_4 と O_2 との1200℃の高温反応によって作製した厚さ0.5mmの無水石英ガラス板）を用いた。この透明ガラス板1を矢印6方向に一定速度で連続的に移動させつつ、透明ガラス板1の厚さ t （0.5mm）の略中心（すなわち、 $t/2$ の位置）のガラス板内部にフェムト秒レーザパルスビーム2をレンズ3で集光させた。

【0035】ここで、フェムト秒パルスレーザパルスビ

ーム2として、波長800nm、パルス幅100fs、繰返し周波数220kHz、平均出力200mWのフェムト秒レーザパルスビームを用いた。この結果、図1に示すように透明ガラス板1の厚さ方向の略1/2の位置に高屈折率で略円形断面形状（直径約10μm）の光伝搬層5を透明ガラス板1の長さ方向に連続的に形成することができた。

【0036】また、矢印6方向への透明ガラス板1の移動速度によって高屈折率の光伝搬層5の屈折率値を変えることができた。すなわち、透明ガラス板1の移動速度が遅い程、光伝搬層5の屈折率を高くすることができ、透明ガラス板1の移動速度が速い程、光伝搬層5の屈折率を低くすることができる。透明ガラス板1の移動速度が1mm/secから10mm/secの範囲で光伝搬層5と石英ガラス板1の比屈折率差を約0.5%から約0.06%まで変えることができた（これは導波路出射端でのニアフィールドパターンから概算して求めた値であり、導波路内への光の伝搬光は波長632.8nmのHe-Neレーザ光を用いた。）。また、比屈折率差が約0.5%の導波路の波長1300nm、1550nmでの光伝搬損失を測定した結果、0.03dB/cm、0.02dB/cmを得ることができた。また、TE波及びTM波での伝搬損失の違いはほとんどなかった。尚、比較のため、市販の有水石英ガラス板（厚さ0.5mm）の表面層近傍に上述した方法により、光伝搬層を形成した導波路の波長1300nm、1550nmでの光伝搬損失を測定した結果、0.09dB/cm、0.12dB/cmであり、いずれも損失が大きいことと、水酸基の影響により1550nmでの損失が増加していた。

【0037】図2は本発明のガラス導波路の製造方法の他の実施の形態を示す説明図である。

【0038】図2に示すガラス導波路は、 SiCl_4 と TiCl_4 と O_2 との高温（1200℃）反応によって作製した、 TiO_2 ドーパ無水石英ガラス板を用い、この透明ガラス板1の略中心に高屈折率の光伝搬層5を形成したものである。このガラス導波路もガラス板1の矢印6方向への移動速度が遅い程、比屈折率差のより大きい導波路を実現することができた。その比屈折率差は図1に示したガラス導波路の場合よりも大きく、最大で約0.8%を得ることができた。

【0039】尚、 TiO_2 以外に GeO_2 や P_2O_5 等の融点の低いドーパントを用いた場合にはあまり大きな比屈折率差は得られず、 TiO_2 や Nb_2O_5 のような高融点のドーパントを用いた場合には、高比屈折率差が得られた。また、図1及び図2において、ガラス板1の内部の略中心にレーザパルスビームを集光させる場合の集光スポット径を変えることにより、シングルモード及びマルチモードの導波路を作製することができた。

【0040】図3（b）は本発明のガラス導波路の製造

方法を適用した導波路型光回路の一実施の形態を示す平面透視図であり、図3(a)は図3(b)の左側面図であり、図3(c)は図3(b)の右側面図である。

【0041】図3(a)～(c)に示す光回路は、1入力4出力の光カプラであり、三つのY分岐回路7-1、7-2、7-3を組み合わせて構成したものである。この光回路は、図1に示したようにガラス板1を矢印6方向に1回移動させただけでは実現することができないが、図3(b)に示すように、①→②、③→④、⑤→⑥、⑦→⑧のようにパターン化することによって実現することができる。

【0042】この光回路は、光伝搬層5a-1に入射した光信号を光伝搬層5b-1、5b-2、5b-3、5b-4へ略等分配して出射させるようにした光スターカプラである。

【0043】この光スターカプラを前述した極低水酸基の石英ガラス板(厚さ t :0.5mm、幅 w :10mm、長さ l :40mm)1の内部に形成することができた。この光スターカプラの過剰損失は0.8dB、分配バラツキは ± 0.4 dB、偏波依存損失は0.1dB以下であった。また、温度範囲が -10°C から $+60^{\circ}\text{C}$ においては偏波依存損失の増減はほとんどなかった。

【0044】図4(b)は本発明のガラス導波路の製造方法を適用した導波路型光回路の他の実施の形態を示す平面透視図であり、図4(a)は図4(b)の左側面図であり、図4(c)は図4(a)の右側面図である。

【0045】図4(a)～(c)に示す光回路は、方向性結合器型光回路であり、図3(a)～(c)に示した光回路と同様に極低水酸基の石英ガラス板(厚さ t :0.5mm、幅 w :5mm、長さ l :20mm)1の内部に形成したものである。

【0046】この光回路で3dBのカプラを試作した結果、過剰損失0.3dB、分岐比 $3\text{dB} \pm 0.4\text{dB}$ 、偏波依存損失0.1dB以下を得ることができた。また、温度が -10°C から $+60^{\circ}\text{C}$ の範囲での偏波依存損失の増減もほとんど生じなかった。

【0047】図5は本発明のガラス導波路の製造方法を適用したガラス導波路の他の実施の形態を示す外観斜視図である。

【0048】このガラス導波路は、透明ガラス板1にフッ素Fを添加した極低水酸基の石英ガラス板を用いて構成したものである。Fは融点が高いので、レーザー照射によって容易に拡散しやすい。そのため、光伝搬層5はFの拡散によって超高密度で高屈折率になる。透明ガラス板1にはFが添加されているので屈折率は低く、光伝搬層5との比屈折率差を大きくすることができる。

【0049】ここで、実際に比屈折率差を評価してみた結果、最大で約1.2%を得ることができた。また、透明ガラス板1自体の水酸基の含有量もFを添加することにより、図1に示したガラス導波路の含有量よりも低く

することができた。このため、図5に示したガラス導波路の光伝搬損失も波長1300nm、1550nmにおいて、 0.02dB/cm 、 0.015dB/cm であった。尚、Fの代わりに硼素Bを透明ガラス板に添加してもよいが、吸湿性の点でFよりも劣る。

【0050】図6(b)は本発明のガラス導波路の製造方法を適用した光回路の他の実施の形態を示す平面透視図であり、図6(a)は図6(b)の左側面図であり、図6(c)は図6(b)の右側面図である。

【0051】図6(a)～(c)に示す光回路は、高屈折率の光伝搬層5a、5bの途中に、球形状の高屈折率の光伝搬部9-1～9-11を所望間隔で配列させ、縦続型の光共振器10を設けたものである。

【0052】このように縦続型の光共振器10の屈折率を変えることにより、光共振器10の共振特性(帯域幅、フィネス等)を調節することができる。また、球形状の高屈折率の光伝搬部の球のサイズや球の間隔等を変えることによっても共振特性を調節することができる。上記光共振器10の中に希土類元素イオン(例えば、Er、Nd、Sm等)を添加しておけば、その希土類元素イオン特有の吸収や蛍光特性を利用して光増幅器や光発振器の波長や帯域幅等を制御することができる。尚、光伝搬部の球のサイズや屈折率、球の間隔等はフェムト秒レーザーパルスビームのパルス幅や平均出力等を調節することによって変えることができる。

【0053】図7は本発明のガラス導波路の製造方法を適用したガラス導波路の他の実施の形態を示す外観斜視図である。

【0054】同図に示すガラス導波路は、透明ガラス板1に希土類元素を含有させた透明ガラス板を用いたものであり、光伝搬層11内にも希土類元素が含有されている。

【0055】このガラス導波路は、光増幅用や光発振用の導波路であり、光信号は励起光と共に高屈折率の光伝搬層を伝搬する。希土類元素としては、エルビウムEr、ニオブNb、イッテルビウムYb、サマリウムSm、セリウムCe等が挙げられる。

【0056】本発明は上記実施の形態に限定されない。

【0057】図1において、透明ガラス板1を移動させる代わりに、レーザーパルスビーム2を連続的に移動させて透明ガラス板1の略中心に高屈折率の光伝搬層を形成してもよい。透明ガラス板1として、Fを添加したガラス板は、ゾル・ゲル法、火炎堆積法を利用して製造すると、低損失で所望のドーパント量を添加したものを得ることができる。

【0058】フェムト秒レーザーパルスビームの波長は、透明ガラス板を透過させる波長帯、200nmから2400nmの範囲から選択することができる。また、パルス幅は狭い程、そのエンハンスモードでの光出力を高くすることができ、光伝搬層5の屈折率を熱的ダメージを

少なくして高めることができる。

【0059】透明ガラス板として、熱的膨張係数が略ゼロのアサermalガラスを用いれば、温度無依存の導波路型光信号処理回路を実現することができる。また、フェムト秒レーザパルスビームの照射ではアサermalガラスの高温上昇を抑えることができるので、アサermal特性を劣化させることなく高屈折率の光伝搬層を形成することができる。

【0060】ここで、本発明のガラス導波路の製造方法を適用したガラス導波路は、以下のような効果を有する。

(1) 透明ガラス板の厚さの略1/2の位置にフェムト秒レーザパルスビームを集光させて高屈折率の光伝搬層を連続的に形成するので、偏波依存性の生じにくい光信号処理回路を実現することができる。また、環境温度変化に対しても光学特性の変化が生じにくいことが分かった。

(2) 透明ガラス板として、極低水酸基の石英ガラス、極低水酸基の高融点ドーパントを含有した石英ガラスを用いれば、波長1.39 μ m帯における水酸基による吸収損失を低くすることができ、波長1.3 μ mから1.55 μ m帯にわたって低損失な導波路を実現することができる。また、透明ガラス板としてアサermalガラス板を用いれば、アサermal特性を劣化させることなく高屈折率の光伝搬層を形成することができ、温度無依存の光信号処理回路(光フィルタ、光合分波器、光スターカプラ等)を得ることができる。

(3) 透明ガラス板全体にFのような屈折率を低下させるドーパントを添加したガラス板を火炎堆積法、ゾル・ゲル法等の方法で製造し、この透明ガラス板にフェムト秒レーザパルスビームを照射することにより、ドーパントを拡散させて高比屈折率差の導波路を得ることができる。

(4) 高屈折率の光伝搬層の途中に、異屈折率領域を少なくとも一つ形成することにより、導波路グレーティングや光共振器等を構成することができる。

(5) 透明ガラス板の全体、あるいはレーザ照射部領域に希土類元素を少なくとも一種類添加したものをゾル・ゲル法、火炎堆積法等で製造し、得られた透明ガラス板にフェムト秒レーザパルスビームを照射することにより、レーザ照射された領域の高屈折率化と同時に希土類元素の均一分布が実現できる。このようにして得られた導波路に信号光と共に励起光を入力すれば、高利得光増

幅や高出力光発振等を実現することができる。

【0061】

【発明の効果】以上要するに本発明によれば、次のような優れた効果を発揮する。

【0062】低損失で安定した特性を有するガラス導波路が得られるガラス導波路の製造方法の提供を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のガラス導波路の製造方法の一実施の形態を示す説明図である。

【図2】本発明のガラス導波路の製造方法の他の実施の形態を示す説明図である。

【図3】(b)は本発明のガラス導波路の製造方法を適用した導波路型光回路の一実施の形態を示す平面透視図であり、(a)は(b)の左側面図であり、(c)は(b)の右側面図である。

【図4】(b)は本発明のガラス導波路の製造方法を適用した導波路型光回路の他の実施の形態を示す平面透視図であり、(a)は(b)の左側面図であり、(c)は(a)の右側面図である。

【図5】本発明のガラス導波路の製造方法を適用したガラス導波路の他の実施の形態を示す外観斜視図である。

【図6】(b)は本発明のガラス導波路の製造方法を適用した光回路の他の実施の形態を示す平面透視図であり、(a)は(b)の左側面図であり、(c)は(b)の右側面図である。

【図7】図7は本発明のガラス導波路の製造方法を適用したガラス導波路の他の実施の形態を示す外観斜視図である。

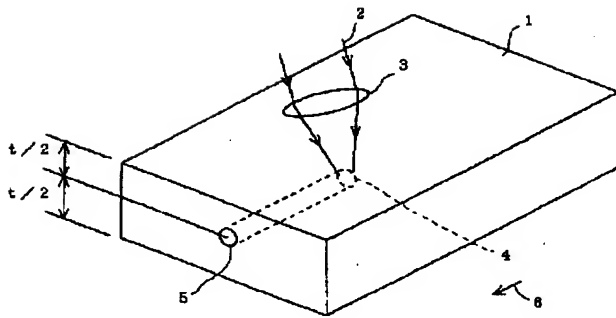
【図8】(a)は合成石英ガラス中に導波路を形成した場合の断面図、(b)はフッ化物ガラス中に導波路を形成した場合の断面図、(c)は光学ガラス中に導波路を形成した場合の断面図である。

【図9】(a)はレーザビームを試料の表面に平行移動させて照射した場合の断面図を示し、(b)はレーザビームを試料の表面に垂直に移動させながら試料の表面に沿って移動させて照射した場合の断面図である。

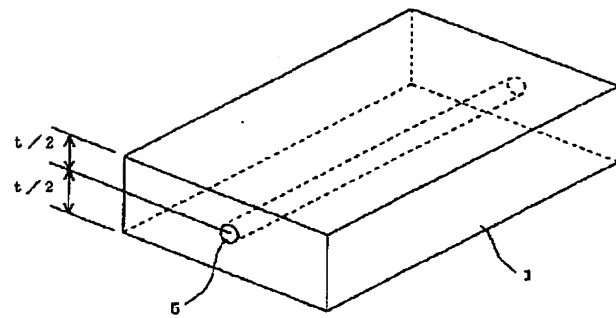
【符号の説明】

- 1 透明ガラス板
- 2 フェムト秒レーザパルスビーム
- 3 レンズ
- 5 光伝搬層

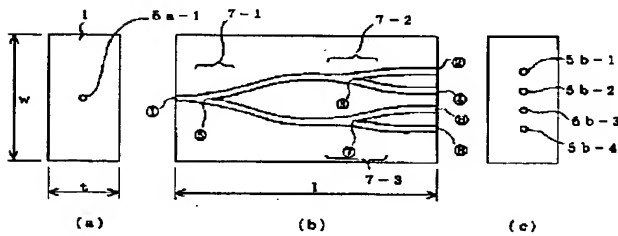
【図1】



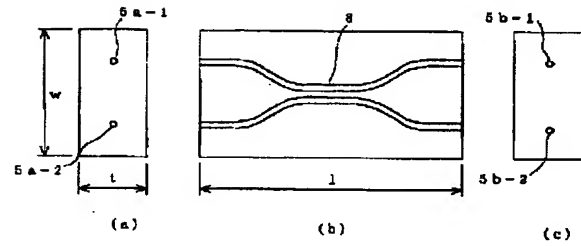
【図2】



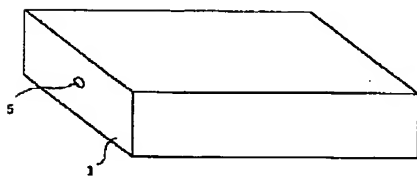
【図3】



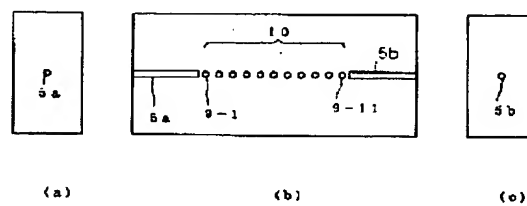
【図4】



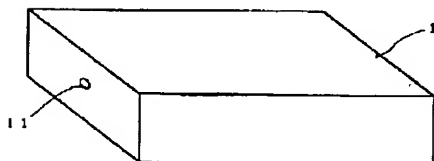
【図5】



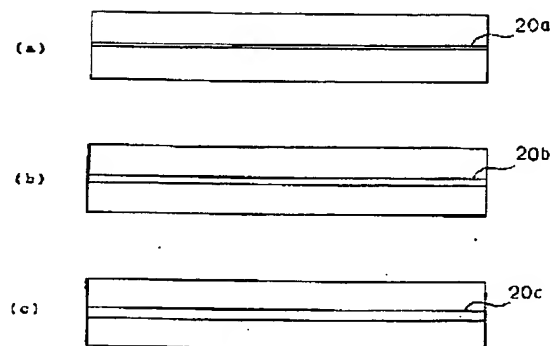
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

